

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Diagnostika technického stavu kulového mlýna

Diagnostics of the technical condition of the Ball Mill

Student:

Jan Wrona

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Blata

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Wrona**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **2301R023 Technická diagnostika, opravy a udržování**
Specializace: **70 Technická diagnostika, opravy a udržování**
Téma: **Diagnostika technického stavu kulového mlýna**
Diagnostics of the Technical Condition of the Ball Mill

Zásady pro vypracování:

Zpracujte ve formě studie návrh využití metod diagnostiky ke kontrole technického stavu zařízení v podmínkách provozu daného podniku, za využití dostupných měřících přístrojů a metod.

V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proveďte konkrétní provozní vyhodnocení.

Další bližší specifikace provede vedoucí bakalářské práce a firma OKK Koksovny, a.s.

Seznam doporučené odborné literatury:

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7.

MILÁČEK, S.: *Měření a vyhodnocování mechanických veličin*. ČVUT v Praze 2001, 231 s., ISBN 80.01-02417-2

JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL.: *Technická měření*. ČVUT v Praze 2003, 212 s., ISBN 80-01-02138-6

Podkladové materiály firem - ADASH s.r.o., Brüel Kjaer, SKF Ložiska a.s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

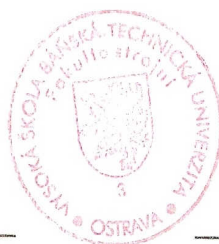
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Blata**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....
Jan Wrona

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:.....

.....

podpis

Adresa trvalého pobytu:

Jan Wrona

Služovice č.178

okr. Opava

747 28

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

WRONA, J. *Diagnostika technického stavu kulového mlýna*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2011, 45 stran. Vedoucí práce: Ing. Blata, J.

Úkolem této bakalářské práce je určení technického stavu kulového mlýna. V teoretické části úvodu je popsána technická diagnostika a jejich základní pojmy. Dále příčiny vzniku vibrací a metody vyhodnocení vibrací. V práci jsou dále vypsány druhy kulových mlýnů a také jsou uvedeny metody používané pro identifikaci vznikajících vibrací. V praktické části je popsán kulový mlýn a jeho konstrukce. Následně je popsán použitý měřicí přístroj a vyznačené body měřené na pohonu kulového mlýna. Cílem práce bylo vyhodnotit naměřené hodnoty pohonu kulového mlýnu. A v závěru jsou uvedeny časté závady na bubnu kulového mlýnu.

ANNOTATION BACHELOR PAPER

WRONA, J. *Diagnostics of the technical condition of the Ball Mill*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2011, 45 pages. Supervisor: Ing. Blata, J.

The task of this bachelor paper is to determine technical condition of the ball mill. In the theoretical part of the introduction there is described technical diagnostic and basic concepts. Further the causes of vibration and the methods of the evaluation of vibration. In the paper there are also listed species of ball mills and are given the methods used for the identification emerging vibration. In the practical part is described a ball mill and its construction. Consequently is described used measuring instrument and marked points measured on the drive of the ball mill. The aim of the work was to evaluate measured values of propulsion of the ball mill. And in the end are given frequent defects of drum of the ball mill.

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	8
Úvod	9
1 Vibrodiagnostika	10
1.1 Základní pojmy technické diagnostiky	10
1.2 Druhy a příčiny vzniku vibrací	11
1.3 Mechanické kmitání měřených veličin	15
2 Měření a vyhodnocení vibrací	18
2.1 Rozdělení a klasifikace signálů	18
3 Druhy kulových mlýnů	20
3.1 Dvoukomorové mlýny pro mletí cementu	20
3.2 Jedno a dvoukomorové mlýny s předsoušecí komorou pro mletí suroviny	22
3.3 Pneumatické mlýny	23
4 Základní metody vibrační diagnostiky	24
4.1 Frekvenční analýza pomocí FFT	24
4.2 Kepstrální analýza	24
4.3 Obálková metoda (ENVELOP)	25
5 Návrh měření a jeho vyhodnocení	26
5.1 Historie Koksovy Svobody	26
5.2 Popis kulového mlýna	26
5.3 Konstrukce kulového mlýnu	28
5.3.1 Plášť mlýna	28
5.3.2 Uložení mlýna	29
5.3.3 Vnitřní vybavení kulového mlýnu	30
5.4 Použitý měřicí přístroj	32
5.5 Volba měřících míst na kulovém mlýnu	33
5.6 Závady kulového mlýnu na bubnu	41
Závěr	43
Poděkování:	44
Použitá literatura:	45

Seznam použitých symbolů a zkratek

a	zrychlení	[m.s ⁻²]
A _{max}	maximální rychlost (amplituda zrychlení)	[m.s ⁻²]
AC	střídavý proud	[-]
ČSN ISO	česká státní norma převzata z normy mezinárodní	[-]
DC	stejnoseměrný proud	[-]
e	posun těžiště	[-]
f	frekvence kmitání	[Hz]
F _C	faktor vrcholu	[-]
F _f	faktor tvaru	[-]
FFT	rychlá Fourierova transformace	[-]
F _U	síla nevyvážky	[N]
H ₂ O	voda	[-]
O-O	osa čepu	[-]
Obr.	Obrázek	[-]
PC	počítač	[-]
S	těžiště	[-]
T-T	hlavní osa setrvačnosti	[-]
U	nevyvážek	[-]
v	rychlost	[m.s ⁻¹]
V _{max}	maximální rychlost (amplituda rychlosti)	[m.s ⁻¹]
X _{ave}	střední absolutní hodnota	[m]
X _{max}	maximální amplituda	[m]
X _{RMS}	střední kvadratická hodnota	[m]
ω	úhlová rychlost	[rad.s ⁻¹]
Ø	průměr	[m]
π	Ludolfovo číslo	[-]

Úvod

Vibrodiagnostika je bezdemontážní diagnostika při jejích provádění nejsou stroje nebo provoz přerušeny. Cílem vibrodiagnostiky je určit v jakém je stavu dané zařízení a podle toho pak změnit způsob údržby. Popřípadě minimalizovat nepotřebné opravy a předejít, tak k haváriím.

Vývoj vibrodiagnostiky vychází z vývoje metod technické diagnostiky. Kdy vývoj vycházel od pocitových a vizuálních vjemů a o zesílení vibračního (hlukového) signálu až k použití nejmodernější měřicí techniky. Velký význam pro vibrodiagnostiku bylo nasazení informačních technologií, které umožnilo nejen měření vibračního signálu, ale zejména možnost jeho vyhodnocení v reálném čase. [1]

Základním předpokladem spolehlivého řízení provozu a efektivní údržby je znalost průběhu opotřebení a určení objektivní zbytkové životnosti daného zařízení, to znamená pomocí měřicích a vyhodnocovacích metod stanovit aktuální technický stav exaktně v reálném čase. Dané metody nám zajišťují kontrolu bez demontáže, respektive destrukce a za běžných provozních podmínek. Mezi nejdůležitější prostředky zajištění údržby patří metody technické diagnostiky, tedy včetně vibrodiagnostiky, které v celé své šíři působnosti nejvýrazněji ovlivňují obsah údržby v celé své komplexnosti. Technická diagnostika je v praxi hlavním nástrojem kontrolně inspekční a revizní činnosti (zjišťování technického stavu a opotřebení), rozhoduje o nutnosti a rozsahu prováděných oprav (snižování rychlosti opotřebení), kde ohodnocuje dodržování zásad správného provozu. [2]

1 Vibrodiagnostika

1.1 Základní pojmy technické diagnostiky

Pro tuto kapitolu byly informace čerpány dle literatury [1]

V následujících kapitolách budou používány odborné termíny, které je nutné charakterizovat.

DIAGNÓZA – je charakterizována jako analýza okamžitého technického stavu objektu resp. Vyhodnocení provozuschopnosti objektu za daných provozních podmínek. Základní úkoly diagnózy jsou:

- a) Detekce – odhalení existence vznikající poruchy
- b) Lokalizace – určení místa, vadné části nebo uzlu vznikající poruchy
- c) Specifikace – stanovení příčiny vznikající poruchy vyhodnocením diagnostického signálu tzn. okamžitým stanovením a geneze po dobu provozu
- d) Predikace – určení prognózy zbytkové životnosti (času do nutné opravy) za účelem strategického plánování a řízení údržby.

DIAGNOSTICKÝ SYSTÉM – vyhodnocuje technický stav objektu a je tvořen:

- a) Diagnostickými prostředky – soubor technických zařízení, postupů, metod pro analýzu a vyhodnocení technického stavu objektu
- b) Diagnostickým objektem a obsluhou – je systém pro sledování technického stavu jsou trvale instalovány – ON LINE měření nebo jsou tzv. přenosné měřicí systémy – OFF LINE měření. Další variantou je kombinace, že snímače jsou instalovány trvale
a měření dat je prováděno cyklicky (periodicky) – semitrvale.

TECHNICKÝ STAV – diagnostikovaného objektu je dán odpovídající velikostí a vývojem diagnostické veličiny a množinou vybraných vlastností, včetně technických parametrů

DIAGNOSTICKÁ VELIČINA – je nositelem informace o technickém stavu objektu (fyzikální, funkční)

PROVOZUCHOPNOST – stav ve kterém je objekt schopen vykonávat stanovené funkce za daných podmínek

PORUCHA – jev ukončující provozuschopnost objektu.

1.2 Druhy a příčiny vzniku vibrací

Pro tuto kapitolu byly informace čerpány dle literatury [1,2,4]

Mechanické chvění vzniká při provozu všech točivých strojů. Vyhnout se mechanickému chvění je téměř nemožné. Příčiny mechanického chvění jsou dynamické síly provázející výrobní nepřesnosti, vůle pohyblivých součástí, styk dílů se třením a odvalováním, nevyváženost a nesouosost součástí s rotačním, kmitavým a vratným pohybem. Rezonanci jiných součástí může vyvolat chvění, které se také stane zdrojem dalšího mechanického chvění, ale také hluku. [2]

NEVÝVAHA

Příčiny nevyváženosti rotujících objektů:

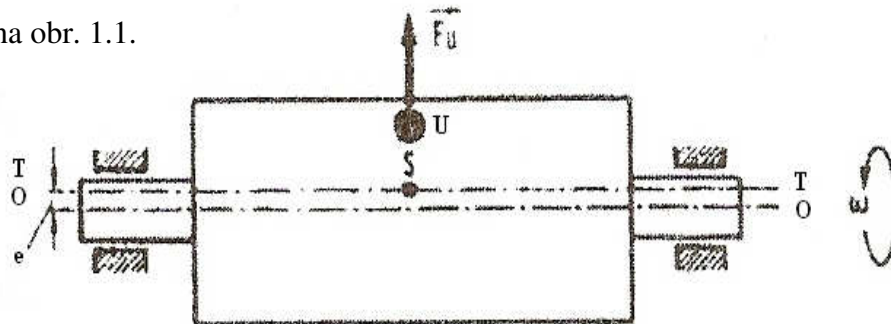
- a) Výrobní a montážní příčiny nevyváženosti
 - nerovnoměrná hustota materiálu a součástí
 - výrobní úchytky a výstřednosti rotačních ploch vůči ose rotace,
 - trvalá deformace součástí,
 - neokrouhovitost ložiskových čepů, popř. jejich ohnutí,
 - neobrobené plochy.
- b) Funkční příčiny nevyváženosti
 - deformace nebo vzájemné uvolnění části rotoru
 - nerovnoměrné opotřebení rotoru (ventilátory, čerpadla),
 - kinetické příčiny nevyváženosti (pístové stroje, kloubové spojky),
 - z funkce stroje, např. odstředivky.
- c) Nevyvážené části rotoru jsou zdrojem odstředivých budících sil s frekvencí otáčení f_0 , které se projevují vibracemi a hlukem. Nevyváženost způsobuje:
 - snížení trvanlivosti ložisek,
 - zvyšuje dynamické namáhání rotoru,
 - může způsobit kolizi statoru s rotorem (havárii),
 - ohrožuje funkci stroje.

Vyvážení znamená přiblížení osy těžiště co nejpřesněji k ose rotace, že selepší rozložení hmoty rotujícího tělesa natolik, aby toto těleso se otáčelo ve svém uložení, tak aby nepůsobily volné odstředivé síly, a aby jeho ložiska nemohla být namáhána periodickými silami s frekvencí otáček.

Podle rozdělení nevyvážku po délce rotoru se u tuhého rotoru dělí na:

a) Statická nevyváženost

Tato závada vyvolává paralelní posunutí hlavní osy setrvačnosti vůči ose otáčení, přičemž jejich vzdálenost současně odpovídá posunutí těžiště rotoru. U statické nevyváženosti působí pouze jedna síla. Je možné ji pozorovat, položíme – li rotor na plochu s minimálním třením a rotor se otočí. Nejtěžší bod zaujme nejnížší polohu. Vyvažování statické se provádí v jedné varovací rovině. Statická nevyváženost je zobrazena na obr. 1.1.

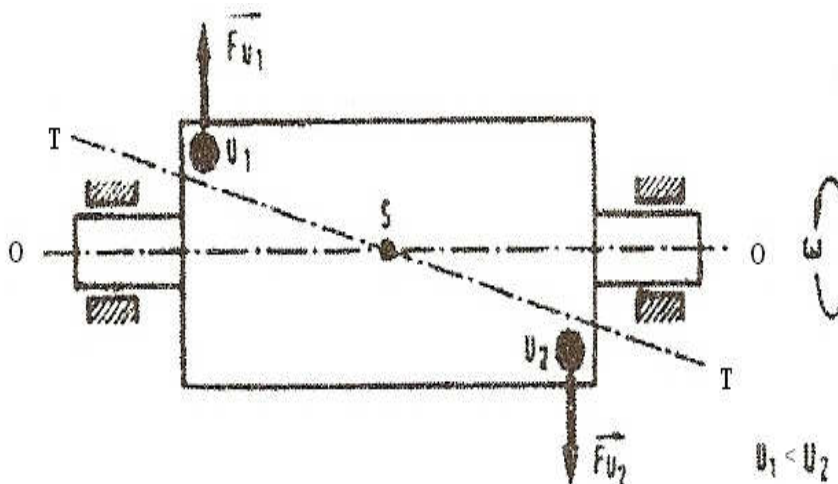


Obr. 1.1 Statická nevyváženost [1]

e...posun těžiště U...nevyvažek T-T...hlavní osa setrvačnosti
S...těžiště O-O...osa čepu

b) Momentová nevyváženost

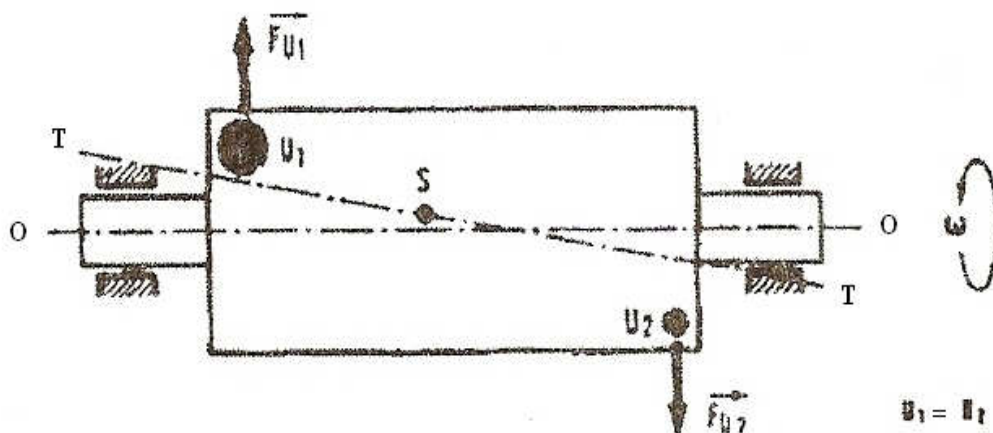
Hlavní osa setrvačnosti svírá přitom s osou otáčení určitý úhel a protíná ji v ose těžiště rotoru. N rozdíl od statické nevyváženosti nelze momentovou nevyváženost měřit v klidovém stavu. V momentové nevyváženosti působí dvě totožné síly proti sobě (o 180°), což způsobuje, že v klidové poloze se rotor jeví jako vyvážený. Přesto při otáčení rotoru posunují tyto síly rotor na obou koncích hřídele v opačném směru. Následkem toho rotor vibruje a hodnoty fáze naměřené na protějších koncích hřídele jsou posunuty o 180°. Momentová nevyváženost je znázorněna na obr. 1.2.



Obr. 1.2 Momentová nevyváženost [1]

c) Dynamická nevyváženost

Vzhledem k výrobním tolerancím vykazují rotory všeobecně statickou, tak i momentovou nevyváženost. Hlavní osa setrvačnosti pak neprotíná, osu otáčení v těžišti rotoru, nýbrž mimo něj. U jednoduchých strojů převládá statická nevyváženost nad momentovou. U složitějších strojů (s více než jednou spojkou nebo několika místy na rotoru), kde se může vyskytovat nevyváženost, bývá dominantní momentová nevyváženost. Při vyvažování stroje se vyvažuje nejdříve statická nevyváženost a pak se pozornost zaměřuje na nevyváženost momentovou. Vyvažování dynamické nevyváženosti se musí provádět v několika rovinách. Grafické znázornění dynamické nevyváženosti je zobrazeno na obr. 1.3.



Obr. 1.3 Dynamická nevyváženost [1]

d) Kvazistatická nevyváženost

Užívá se tehdy, když nevyvážené hmoty jsou rozloženy mimo těžiště a hlavní osa setrvačnosti protíná osu rotace mimo těžiště.

NESOUOSOST

Při vlastním spojování je nutno dbát na přesnou souosost spojovaných hřídelů, na pečlivost smontovaných spojek (čímž zamezíme čelnímu a radiálnímu házení), na zamezení příčného kontaktu čel spojek.

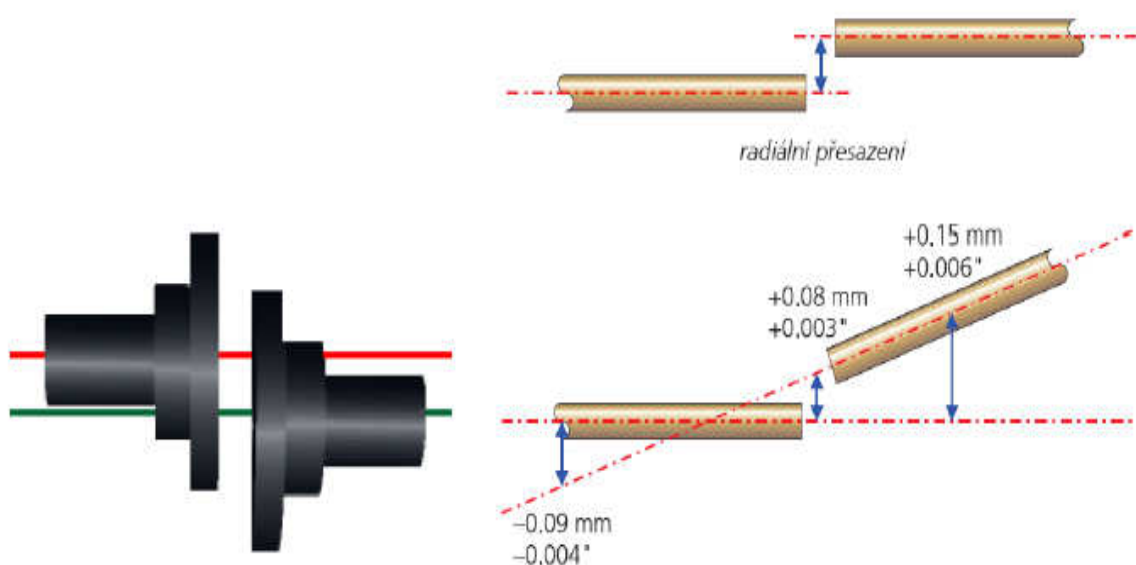
Pokud nejsou splněny předpoklady správného ustavení, vznikají během provozu vynucené síly a kmity vyvolávající přídavná zatížení hřídelů, spojek, ložisek a základů. Překročí-li chyby ve vyrovnávání os a závady ve spojkách přípustné tolerance, dochází k poškození ložisek, spojek, základů a k trvalým deformacím hřídelů a předčasné únavě materiálu.

Je nutné si uvědomit, že při chybách vyrovnání dochází k násilnému spojení přírub spojek. Díky tomu rotuje hřídel okolo stojící (nikoliv obíhající) ohybové čáry, což vede k ohybovému namáhání rotoru při otáčení. Vynucené síly typické pro nesouosost vedou

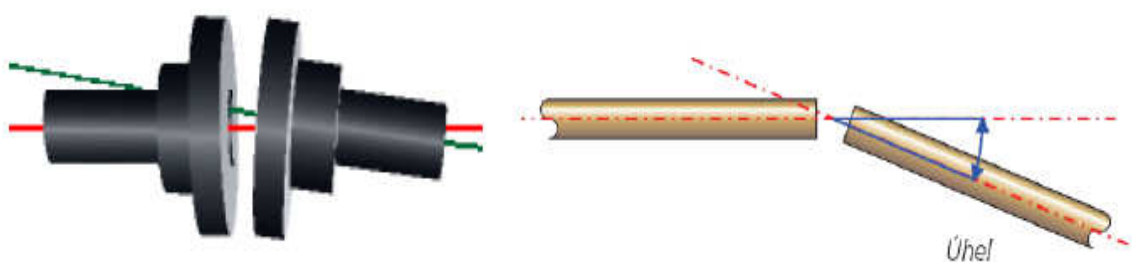
k zvýšenému, zpravidla značnému statickému zatížení ložisek v konstantním směru (prostorově nehybné ložiskové reakční síly).

Druhy nesouososti máme:

- **radiální přesazení** – je to vzdálenost mezi osami v daném bodě. Ustavením se snažíme dosáhnout stavu, kdy budou rotační osy ustavovaných strojů souosé, a proto dojde k eliminování posunutí ve všech bodech podél hřídele. Radiální přesazení je znázorněno na obr. 1.4.
- **axiální přesazení** – je úhel mezi dvěma osami rotace. Je známo, že hřídel pohyblivého stroje je nakloněn ke hřídeli stacionárního stroje. A z toho vyplývá, že sklon je rozdíl posunutí v nějakých dvou rovinách. Axiální přesazení je znázorněno na obr. 1.5. [4]



Obr. 1.4 Radiální přesazení (posunutí) [4]

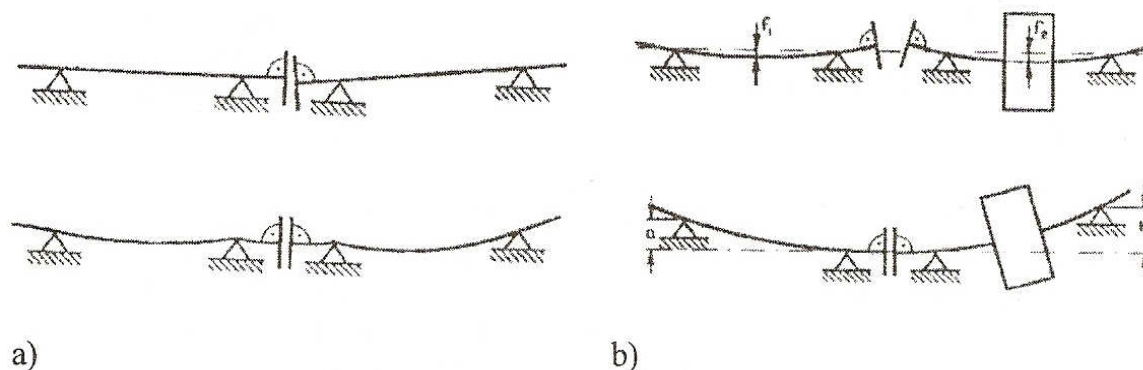


Obr. 1.5 Axiální přesazení (úhlová nesouosost) [4]

Možné příčiny nesouososti:

- a) násilné spojení paralelně a úhlově přesazených spojkových kotoučů
- b) průhyb vlastní vahou při násilném spojení spojkových kotoučů

Tyto příčiny nesouososti jsou ukázány na obr. 1.6.



Obr. 1.6 Příčiny nesouososti [1]

Ohnutý hřídel

Ohnutí za studena je možno zařadit k příčinám ohnutí hřídele – u hřídelů jako je s velkým poměrem délky a průměru může v klidové poloze působením gravitace dojít k prohnutí, nesprávná manipulace během transportu, vysoký krouticí moment, prohnutí hřídele jako důsledek teploty a také i průhyb vzniklý vlastní vahou.

Dalším způsobem ohnutí hřídele je nevyváženost, která způsobuje nadměrné dynamické zatěžování ložisek. Následkem únavy materiálu vznikají závady ložisek.

1.3 Mechanické kmitání měřených veličin

Pro tuto kapitolu byly informace čerpány dle literatury [1,2]

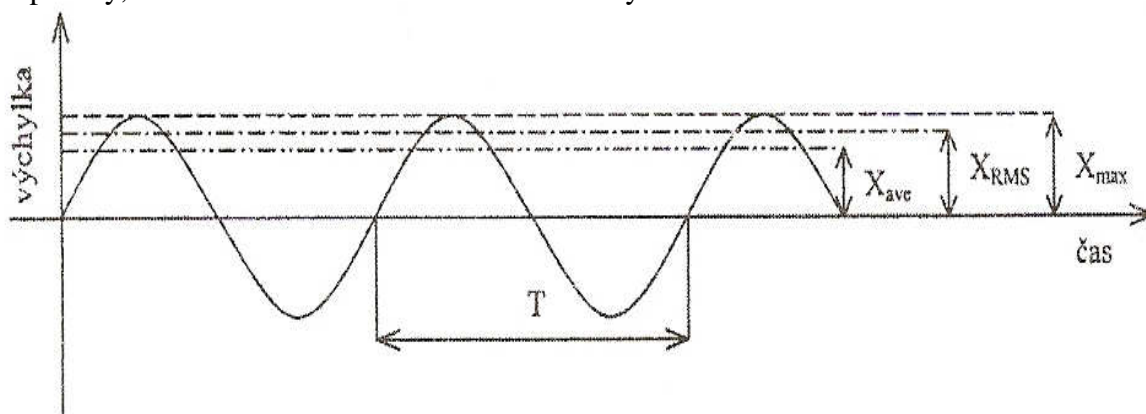
Kmitavý pohyb je chvění těles kolem určité, které jsou zpravidla rovnovážné polohy. Počet plných cyklů kmitavého pohybu za sekundu se nazývá kmitočet a vyjadřuje se v Hz (Hertz).

Složky mechanického chvění můžou být zjištěny pouze ze závislosti jeho amplitud na kmitočtu. Frekvenční analýza je rozklad složeného chvění na kmitočtové složky a je jednou ze základních metod v oboru měření chvění a bezdemontážní diagnostiky. Výsledkem frekvenční analýzy jsou frekvenční spektra a grafická závislost amplitud chvění jsou na kmitočtu spektrogramy.

Amplitudy mechanického chvění určují jeho nebezpečnost a škodlivost. Je možno kvantitativně hodnotit několika způsoby:

- Maximální rozkmit – je označován jako dvojitá amplituda, nebo hodnota špička-špička (peak to peak), také udává největší rozkmit hodnoceného sinusového kmitu a její použití je výhodné tam, kde pro hodnocení chvění je závazná výchylka chvění.
- Vrcholová hodnota X_{\max} – popisuje krátkodobé jevy amplitud a také například mechanických rázů. Indukuje však pouze přítomnost špičky, ale neodráží časový průběh ani kmitočtové složení hodnoceného chvění.
- Střední hodnota X_{ave} – odráží časový průběh hodnoceného chvění, neboť nemá žádný potřebný vztah k důležité fyzikální veličině.
- Efektivní hodnota X_{RMS} – je z hlediska kvantitativního hodnocení amplitudy chvění nejdůležitější, a proto zobrazuje časový průběh a má přímý vztah k energetickému obsahu, takže je měřítkem nebezpečnosti a škodlivosti.

Na obr. 1.7 je znázorněn příklad harmonického kmitání s vyznačením maximální amplitudy, střední kvadratické a absolutní hodnoty.



Obr. 1.7 Harmonické kmitání [1]

Základní vztahy mezi frekvencí kmitání f a periodou T a kruhovou frekvencí ω :

$$1. f = \frac{1}{T} [\text{Hz}] \quad (1)$$

$$2. \omega = 2 \cdot \pi \cdot f [\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2)$$

Rovnice harmonického pohybu pro výchylku x , rychlost v a zrychlení a :

$$3. x = X_{\max} \cdot \sin\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{t}{T}\right) = X_{\max} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) = X_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t) [\text{m}] \quad (3)$$

$$4. v = \frac{dx}{dt} = \omega \cdot X_{\max} \cdot \cos(\omega \cdot t) = V_{\max} \cdot \cos(\omega \cdot t) = V_{\max} \cdot \sin\left(\omega \cdot t + \frac{\pi}{2}\right) [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (4)$$

$$5. a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 \cdot X_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t) = -A_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t) = A_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t + \pi) \text{ [m} \cdot \text{s}^{-2}] \quad (5)$$

kde je: V_{\max} – maximální rychlost – amplituda rychlosti

A_{\max} – maximální zrychlení – amplituda zrychlení

t – čas

Další veličiny:

Střední absolutní hodnota:

$$6. X_{ave} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T |x| \cdot dt \quad (6)$$

Střední kvadratická hodnota:

$$7. X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T x^2 \cdot dt}, \text{ tento vztah je obecně vyjádřený, pro harmonický pohyb platí:} \quad (7)$$

$$8. X_{RMS} = \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}} \cdot X_{ave} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot X_{\max}, \text{ závislosti mezi střední absolutní hodnotou,} \quad (8)$$

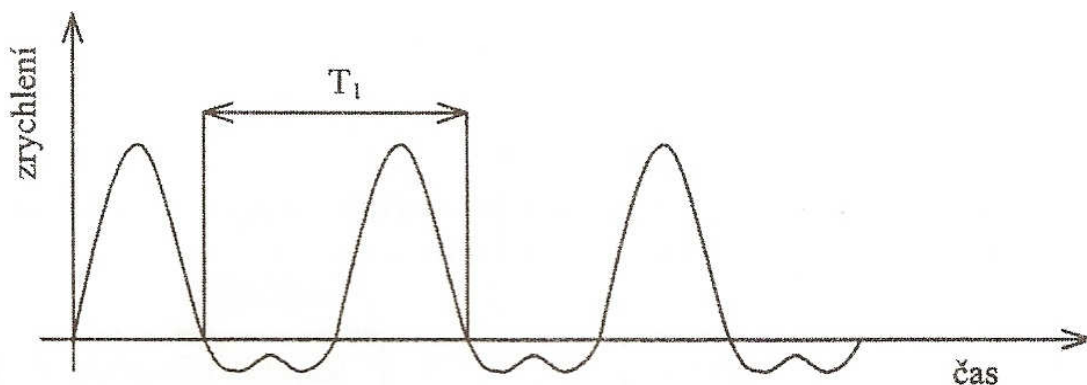
střední kvadratickou hodnotou a maximální amplitudou platí následující vztahy:

$$9. F_f = \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}} - \text{faktor tvaru} \quad (9)$$

$$10. F_C = \sqrt{2} - \text{faktor vrcholu} \quad (10)$$

$$11. X_{RMS} = F_f \cdot X_{ave} = \frac{1}{F_C} \cdot X_{\max}, \text{ kde je } F_f = \frac{X_{RMS}}{X_{ave}}; F_C = \frac{X_{\max}}{X_{RMS}} \quad (11)$$

Většina kmitů není zrovna čistě harmonickým pohybem. Právě proto bychom, jsme měli provádět ověření z výše uvedených veličin (ave , RMS , F_f , F_C), ze kterých získáváme potřebné informace a tudíž zjistíme, zda se nejedná o neharmonický pohyb. Příklad neharmonického periodického pohybu je uveden na obr. 1.8.



Obr. 1.8 Neharmonický periodický pohyb [1]

2 Měření a vyhodnocení vibrací

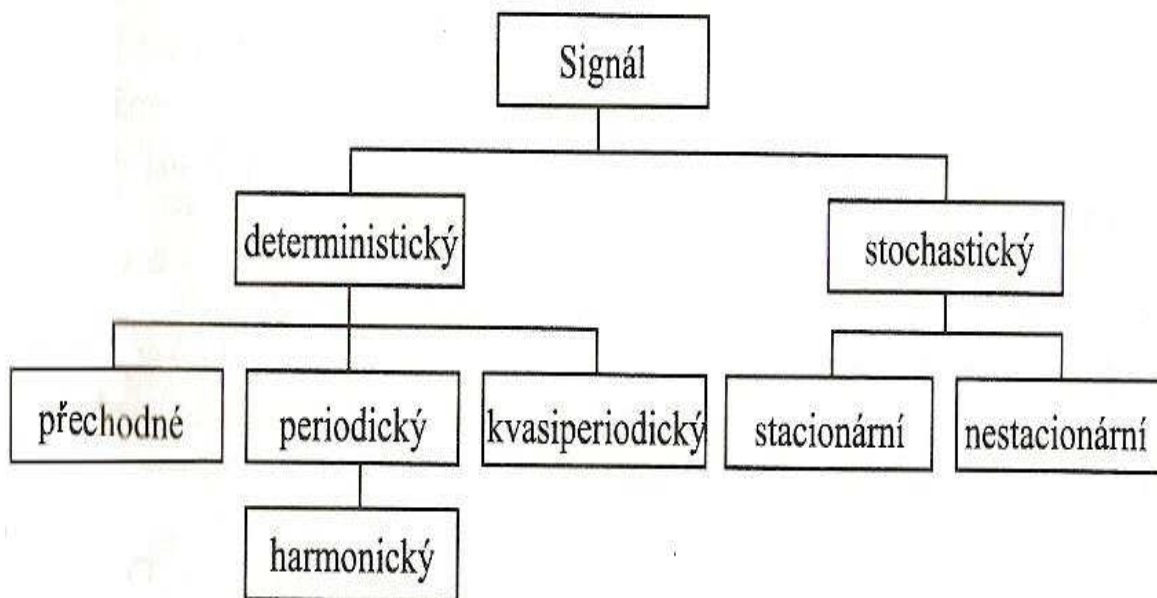
Vibrodiagnostika používá jako je diagnostický parametr vibrace, a právě tento diagnostický parametr dává informace k určení objektivního technického stavu rotujících strojů. Včasná detekce vzniklé závady je pak základním předpokladem pro určení strategického plánu nápravných opatření. [1]

Abstraktní pojem „signál“ se vztahují nejen na časové funkce, ale také reprezentují časové průběhy fyzikálních veličin, které obsahují na rozdíl od šumu jen smysluplné informace. [3]

2.1 Rozdělení a klasifikace signálů

Pro tuto kapitolu byly informace čerpány dle literatury [3]

Signál je zobecněn na jakoukoliv funkci časovou, která je také náhodným šumem, takže popisuje statickou charakteristiku. Statické charakteristiky představují také určitou informaci o objektu, který signál generuje. Na nejvyšší úrovni jsou signály rozděleny na deterministické a stochastické, které se dále dělí podle obr. 2.1.



Obr. 2.1 Klasifikace signálů [3]

Klasifikace signálů:

DETERMINISTICKÝ signál – je signál takový, jehož časový průběh je determinován (např. funkčním předpisem), a proto jeho průběh lze předvídat.

STOCHASTICKÝ signál (náhodný) – je signál, který má v průběhu záznamu nepředvídatelný vývoj. Po záznamu se některé složité deterministické signály mohou jevit jako náhodné.

PŘECHODNÝ signál – je signál časově omezený, zatím co jeho periodické a kvasiperiodické signály trvají nekonečnou dobu. Představují záznam přechodového děje, kde se řadí odezva na impulsní buzení, hluk například při přeletu letadla, anebo při přejezdu vozidla.

PERIODICKÝ signál – jsou signály, které mají důležitou podskupinu, a to harmonický signál, kterým je sinusovka. Je složen z harmonických signálů o frekvencích, které jsou násobkem jedné základní frekvence.

KVASIPERIODICKÝ signál – je signál složený z harmonických signálů s frekvencemi, které jsou na rozdíl od periodického signálu násobky alespoň dvou základních frekvencí se vzájemným poměrem o velikosti, která je rovna číslu iracionálnímu.

HARMONICKÝ signál – je signálem speciálního případu periodického.

STACIONÁRNÍ signál – je signálem, který má časový průběh signálů ustáleného charakteru a jeví se za delšího časového období.

NESTACIONÁRNÍ signál – je signál, jehož charakter se v čase mění a má krátký časový interval.

Náhodné signály se ještě dělí na dvě speciální skupiny, a to signály úzkopásmové a širokopásmové. Úzkopásmový signál se skládá jen ze složek, které představují harmonické signály s frekvencemi z úzkého pásma a to je vzdálené od nulové frekvence. Širokopásmové signály jsou charakteristické tím, že se skládají z harmonických signálů s frekvencemi z širokého pásma frekvencí.

3 Druhy kulových mlýnů

Pro tuto kapitolu byly informace čerpány dle literatury [6]

3.1 Dvoukomorové mlýny pro mletí cementu

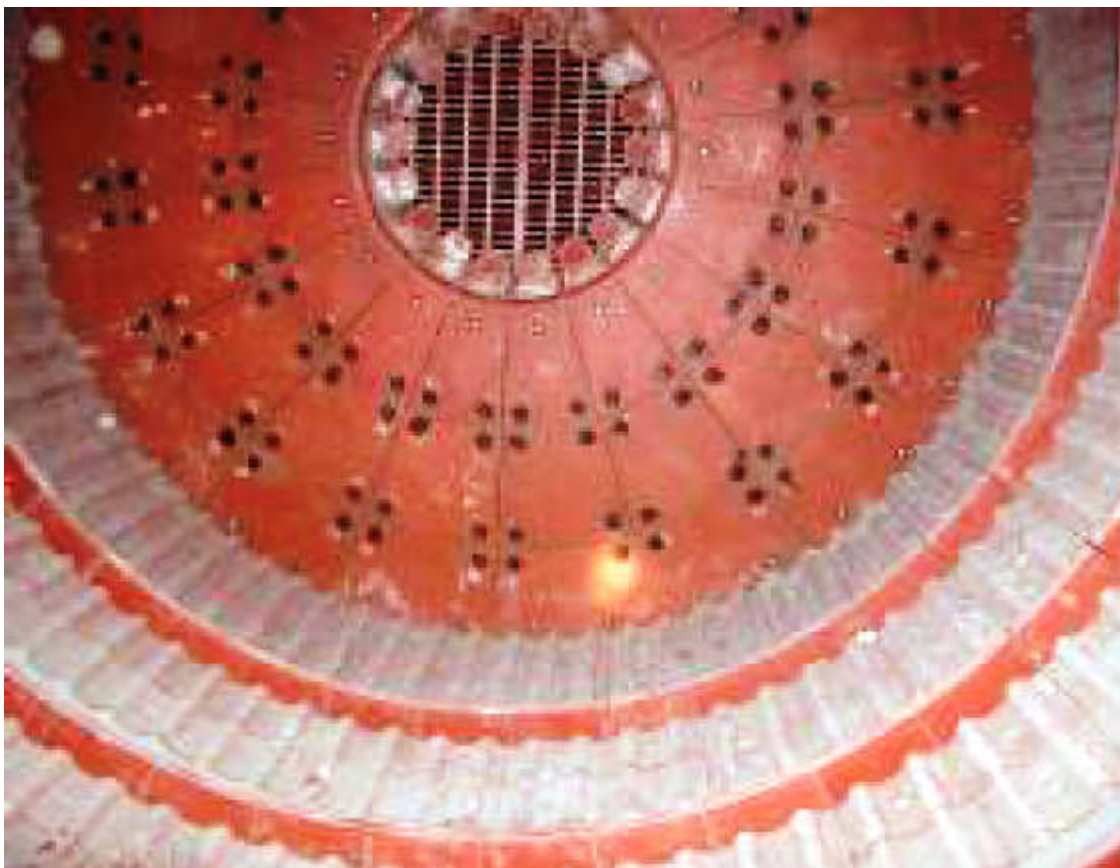
Tyto mlýny jsou určeny pro mletí cementů, strusky a dalších podobných materiálů. Pracují také v okruhu v uzavřeném s vysoce výkonnými třídiči VTP. Jsou schopny semílat materiál až do jemnosti $6500 \text{ cm}^2/\text{g}$ dle Blaine. V první komoře vlastního mlýnu je vybaven vynášecím pancéřováním s vysokým efektem zdrobnění při použití větších koulí. Za to druhá komora je vybavena klasifikačním pancéřováním s využitím malých koulí pro jemné mletí. Příklad mlýnice cementu s mlýnem o $\varnothing 4,0 \times 13,75 \text{ m}$ uloženým na segmentových ložiskách je zobrazen na obr. 3.1.

Mezistěna kulového mlýna je vybavena říditelným průtokem meliva pro optimální zaplnění obou komor melivem a je poukázána na obr. 3.2.

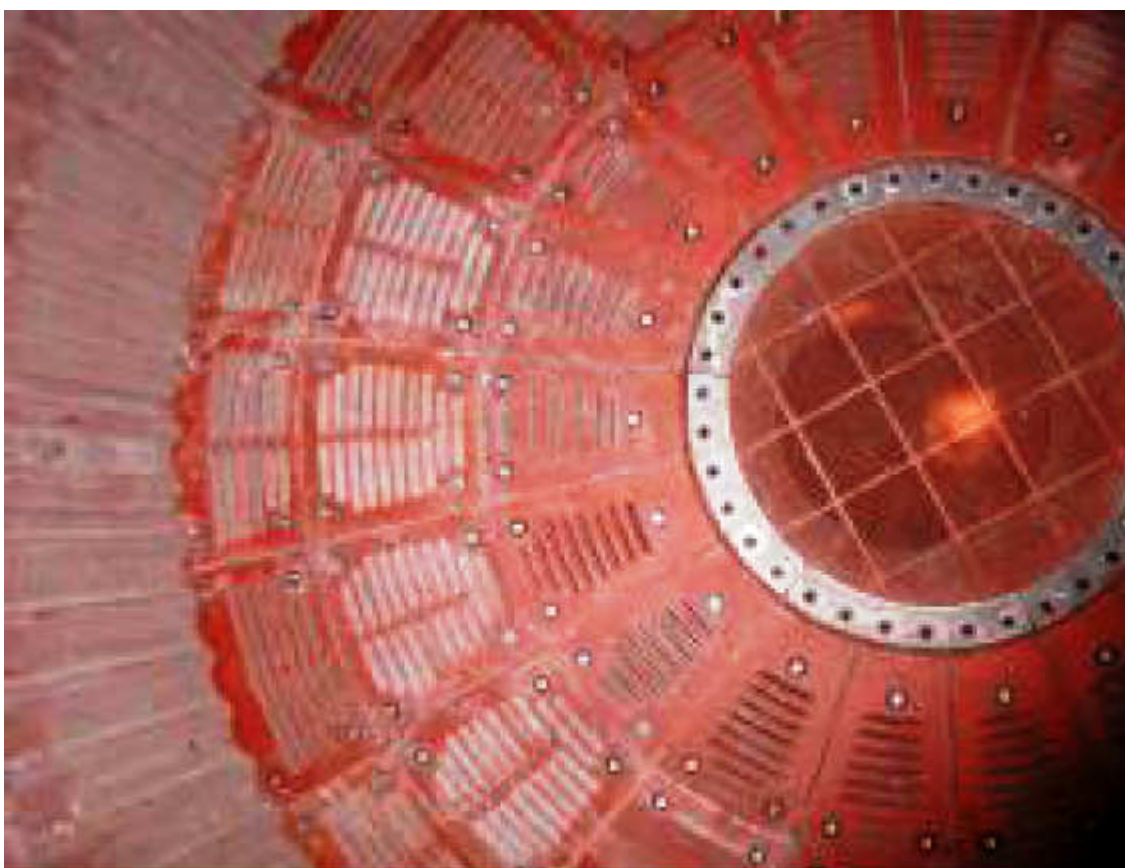
Materiál z druhé komory je přes výstupní stěnu (obr. 3.3) podáván do třídicího okruhu. Při mletí teplejších materiálů je vstřikována voda do druhé komory nebo obou komor mlýna.



Obr. 3.1 Mlýnice cementu s mlýnem uloženým na segmentových ložiskách [6]



Obr. 3.2 Mezistěna s říditelným průtokem meliva [6]



Obr. 3.3 Výstupní stěna mlýna s pancéřováním [6]

3.2 Jedno a dvoukomorové mlýny s předsoušecí komorou pro mletí suroviny

Tyto mlýny s předsoušecí komorou jsou určeny pouze pro mletí suroviny pro pecní linky. Pracují v okruhu s vysoce účinným třídíčem VTP za současného sušení materiálu pomocí pecního plynu nebo teplem z roštového chladiče. Tyto oběhové mlýnice jsou vhodné pro mletí a sušení suroviny do vstupní vlhkosti asi 8 % H_2O . Výstupní produkt, surovinová moučka, je semílaná na jemnost 12 až 14% R90 s vlhkostí do 0,5 % H_2O . Komponenty meliva jsou podávány do předsoušecí komory mlýna, kde probíhá jejich sušení a následně prochází přes dělicí stěnu do mlýna k semletí. Vratná krupice z třídíče je přiváděna na vstup mlýna. Příklad mlýnu pro mletí suroviny o \varnothing 5,4 x 11 m se sušící komorou je zobrazen na obr. 3.4.



Obr. 3.4 Mlýn pro mletí suroviny se sušící komorou [6]

3.3 Pneumatické mlýny

Tímto druhem kulového mlýnu se budu zabývat v kapitole 5.2, který je součástí bakalářské práce. Jako příklad pneumatického mlýnu pro mletí koksu o \varnothing 3,4 x 7 m je poukázán na obr. 3.5.



Obr. 3.5 Pneumatický mlýn pro mletí koksu [6]

4 Základní metody vibrační diagnostiky

Pro tuto kapitolu byly informace čerpány dle literatury [1]

Hluk vyzařován z vibrací strojních zařízení je buzen zvnější kinematicky nebo silově, jsou také samobuzený změnou parametrů. Stupněm opotřebení a technickým stavem zařízení je dána intenzita pravidelnosti buzení. Hlavním nástrojem vibrodiagnostiky je frekvenční analýza jako je například metoda FFT a další.

4.1 Frekvenční analýza pomocí FFT

Pro tuto kapitolu byly informace čerpány dle literatury [1]

Tato analytická metoda je základní a nejběžnější. V průběhu vibračního signálu hledá periodické děje, které v daném souřadném systému potom zobrazí.

Má dva druhy souřadnicového systému:

- frekvenční spektrum – amplituda – osa y, frekvence – osa x
- časový průběh – amplituda – osa y, čas – osa x.

Hodnoty naměřené jsou analyzovány, zaznamenány a zobrazovány ve formě tabulek a grafů pomocí zařízení pro monitorování stavu vibrací – frekvenčního analyzátoru vibrací.

Zobrazení v souřadnicích amplituda – frekvence mluvíme o frekvenčním spektru časového signálu. Časový průběh a frekvenční spektrum je rovnocenné z hlediska přenášené energie. Nejrozšířenějším způsobem stanovení frekvenčního spektra je rychlá **Fourierova** transformace a to pro svoji přesnost, rychlost, srozumitelné nastavení parametrů

a realizovatelnost ve formě univerzálního elektronického obvodu.

4.2 Kepstrální analýza

Pro tuto kapitolu byly informace čerpány dle literatury [1]

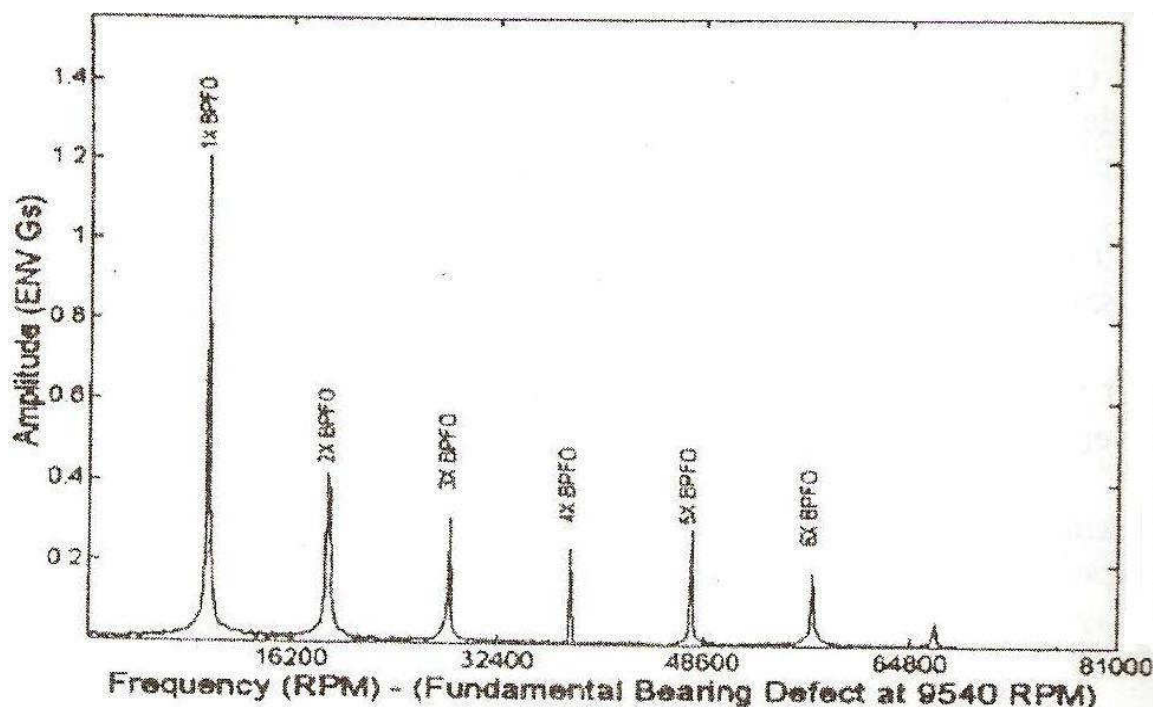
Je to metoda, která hledá periodické děje ve frekvenčním spektru, anebo pravidelně se opakující rozdíly mezi sousedními frekvenčními čarami. Je především vhodná pouze pro případy, které mají frekvenční spektrum několik nosných frekvencí a na nichž jsou namodulována boční pásma. Kepstrum je také vyznačen jednotlivými čarami odstup bočních pásem.

Kepstrum udává závislost velikosti modulační amplitudy vibrací na periodě modulační frekvence. Změřené kepstrum je málo citlivé k přenosu signálu z místa buzení k místu měření vibrací a tím se identifikuje série harmonických nebo bočních pásem obsažených ve spektrech. Kepstrum vibrační je důležitou pomůckou k určování vad nebo poškození ložisek, boků zubů ozubeného soukolí a dalších vad.

4.3 Obálková metoda (ENVELOP)

Pro tuto kapitolu byly informace čerpány dle literatury [1]

Je to činnost ložisek a záběr ozubených kol, jež mají opakující se charakter, který vytváří vibrační signály s mnohem nižší amplitudou a vyššími frekvencemi, než je tomu u vibračních signálů buzených otáčkami nebo konstrukcí. Pokud se u ložiska s valivými elementy objeví defekt na jeho vnější dráze, pak každý valivý element procházející tímto místem vyvolá malý opakující se signál s frekvencí odpovídající závadě v ložisku. Tento signál má ovšem tak nízkou energii, že se při běžném měření zcela ztratí v šumu a dalších budících otáčkových frekvencích. Příklad měření je zobrazen na obr. 4.1.



Obr. 4.1 Obálkové spektrum vnějšího kroužku valivého ložiska [1]

5 Návrh měření a jeho vyhodnocení

Předmětem této kapitoly Vám popíšu, jak pracuje kulový mlýn a jaká je jeho konstrukce. Zaměřím se na změřené signály analýz jednotlivých součástí v daném strojním zařízení. Dále uvedu použité měřicí zařízení, se kterým jsem pracoval a jeho zpracování měřících signálů.

Měření se provádělo ve společnosti OKK Koksovny, a.s. – Provoz Koksovna Svoboda.

5.1 Historie Koksovny Svoboda

Koksovna Svoboda byla založena v roce 1908 pod jménem František. Později byla několikrát přejmenována (Generál Svoboda, Vítězný únor, Svoboda). Po složitém vývoji se roku 1952 stala součástí Ostravsko karvinských koksoven, s nimiž sdílela všechny další proměny. Koksovna Svoboda má dnes čtyři koksárenské baterie - celkový počet komor je 210. Kapacita komor je přibližně 16 tun koksu, výrobní cyklus trvá přibližně 32 až 34 hodin. Koksovna je svým pëchovaným provozem zaměřena především na výrobu slévárenských koksů. Pro všechny druhy slévárenského koksu je zde užíváno ostrídlo vlastní produkce. Roční produkce koksovny Svoboda je v současnosti přibližně 800 tis. tun koksu. [5]

5.2 Popis kulového mlýna

Je to pneumatický mlýn, který má jen jednu mlecí komoru s předřazenou sušicí komorou. Ve válce mlýna jsou vloženy železné kuličky o průměru 70 až 30 mm, které se díky malým otáčkám asi 18 ot/min koulejí do výše dvou třetin průměru bubnu a poté padají zpět na dno. Do mlýna se přivádí ze zásobníku koksárenské uhlí, které se nejdřív usuší v sušicí komoře za pomoci vháněného sušícího plynu, pak je kuličkami semíláno na jemný prášek až o velikosti pod 100 μm . Tento prášek je pneumaticky dopravován za pomoci mlýnového ventilátoru do vysoce účinného třídíče LTR-U s tlakovou odolností do 3,5bar a bezpečnostními klapkami, kde se třídí koksárenský prášek. Hotový produkt je zachován v třídících filtrech. Sušení umožňují velké objemy a teploty sušících plynů proudících přes sušící komoru, mlýn a třídíč. [6]

A large industrial machine, likely a particle accelerator component, with a large circular opening and a complex internal structure. The machine is made of metal and has various pipes, valves, and a ladder attached to it. The interior of the circular opening is covered with a mesh or grid. The machine is situated in a dark, industrial environment.

1 - Kulový mlýn
2 - LTR-U třídíč
3 - Třídící filtr
4 - Mlýnový ventilátor
5 - Zásobník na uhlí
6 - Protiexplozní ventil

sušící plyn

6

2

3

4

5

1

odpadní plyn

hotový produkt

27

5.3 Konstrukce kulového mlýnu

5.3.1 Plášť mlýna

Segmenty z plechu jsou skruženy a svařeny v jeden celek, který je po svaření žíhán pro odstranění vnitřního pnutí. Celý plášť je po kontrole nedestruktivními zkouškami opracován a ložiskové kruhy jsou broušeny s vysokou přesností. [6] Výroba pláště je zobrazena na obr. 5.3.



Obr. 5.3 Výroba pláště kulového mlýnu [6]

5.3.2 Uložení mlýna

Segmentová ložiska s naklápěcími segmenty uloženými na výkyvných vahadlech jsou ukázány na obr. 5.4 a řešena na principu hydrodynamického mazání. Dokonale se přizpůsobují tvaru ložiskových kruhů. Mimo mlýny se segmentových ložisek PSP Engineering dodává i mlýny klasického provedení s uložením na krčních ložiskách.

Hlavní charakteristiky kulového mlýnů uloženy na segmentových ložiskách jsou:

- nízké náklady na provoz a údržbu
- vysoká provozní spolehlivost
- vysoký výkon
- menší prostorové nároky oproti mlýnům uloženým na krčních ložiskách.[6]

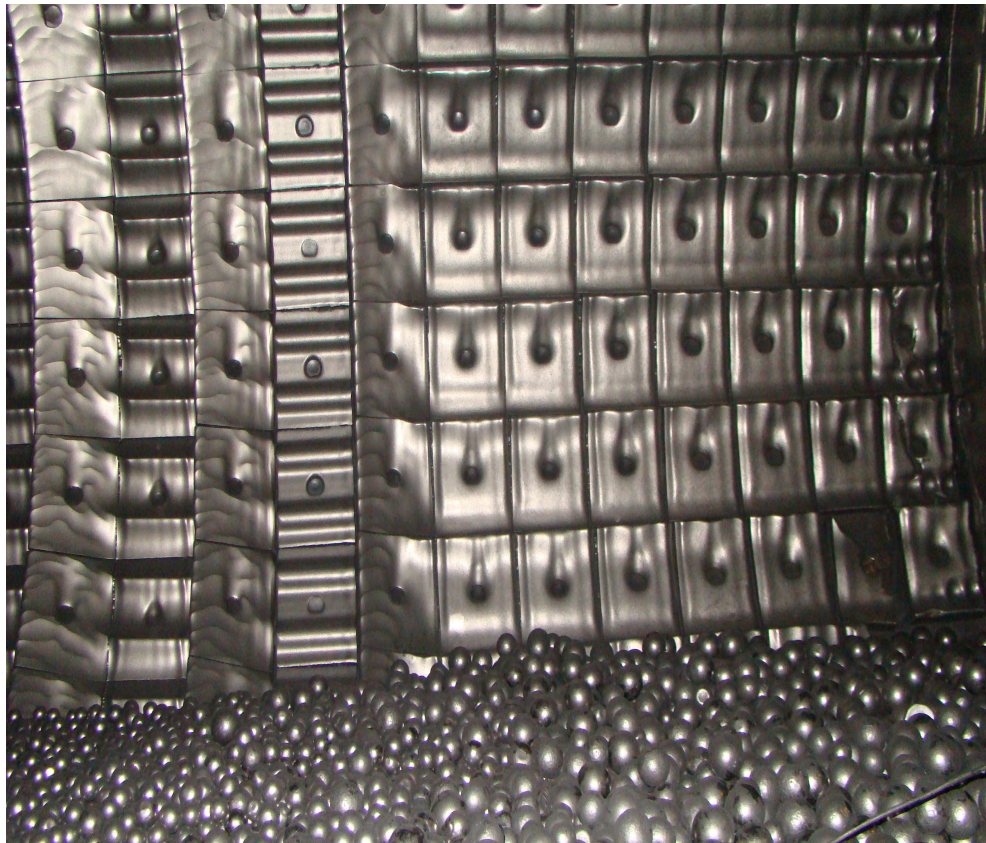


Obr. 5.4 Segmentová ložiska s naklápěcími segmenty uložených na výkyvných vahadlech [6]

5.3.3 Vnitřní vybavení kulového mlýnu

Se skládá z těchto částí:

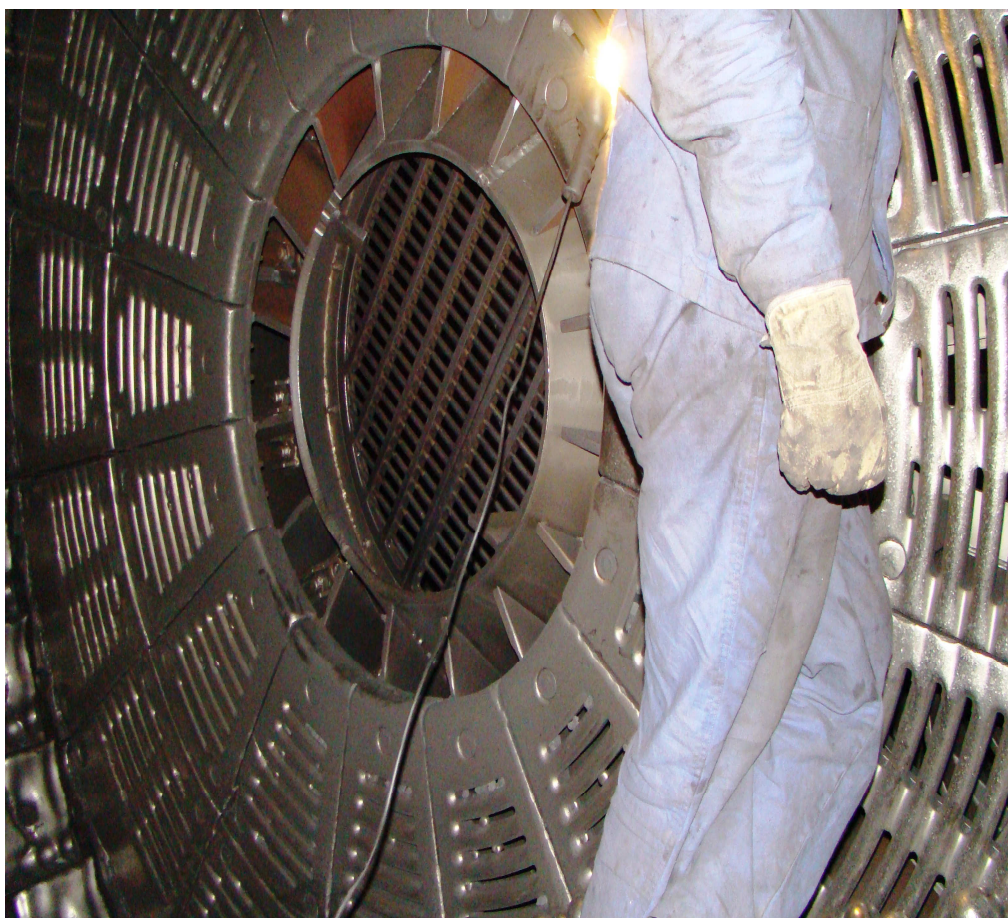
- obvodové pancéřování (obr. 5.5)
- mezistěna (obr. 5.6)
- výstupní stěna (obr. 5.7)
- mlecí náplň (obr. 5.8).



Obr. 5.5 Obvodové pancéřování kulového mlýnu



Obr. 5.6 Mezistěna s čelním pancéřováním



Obr. 5.7 Výstupní stěna mlýna s pancéřováním



Obr. 5.8 Mlecí náplň

5.4 Použitý měřicí přístroj

Pracoval jsem s měřicím přístrojem od firmy Adash s.r.o., který je ukázán na obr. 5.9. Je to sběrač dat, analyzátor, vyvažovačka, měření rozběhů / doběhů a záznam vibrací a to vše v jednom přístroji. Současné měření s 3 kanály AC, nebo 3 kanály DC a 1 tacho.

Mezi jeho hlavní funkce patří:

- 25 600 čar FFT, 24 bitový A/D převodník
- Paralelní signálové procesory pro nejrychlejší zpracování dat
- Velký barevný displej s vysokým rozlišením. [7]

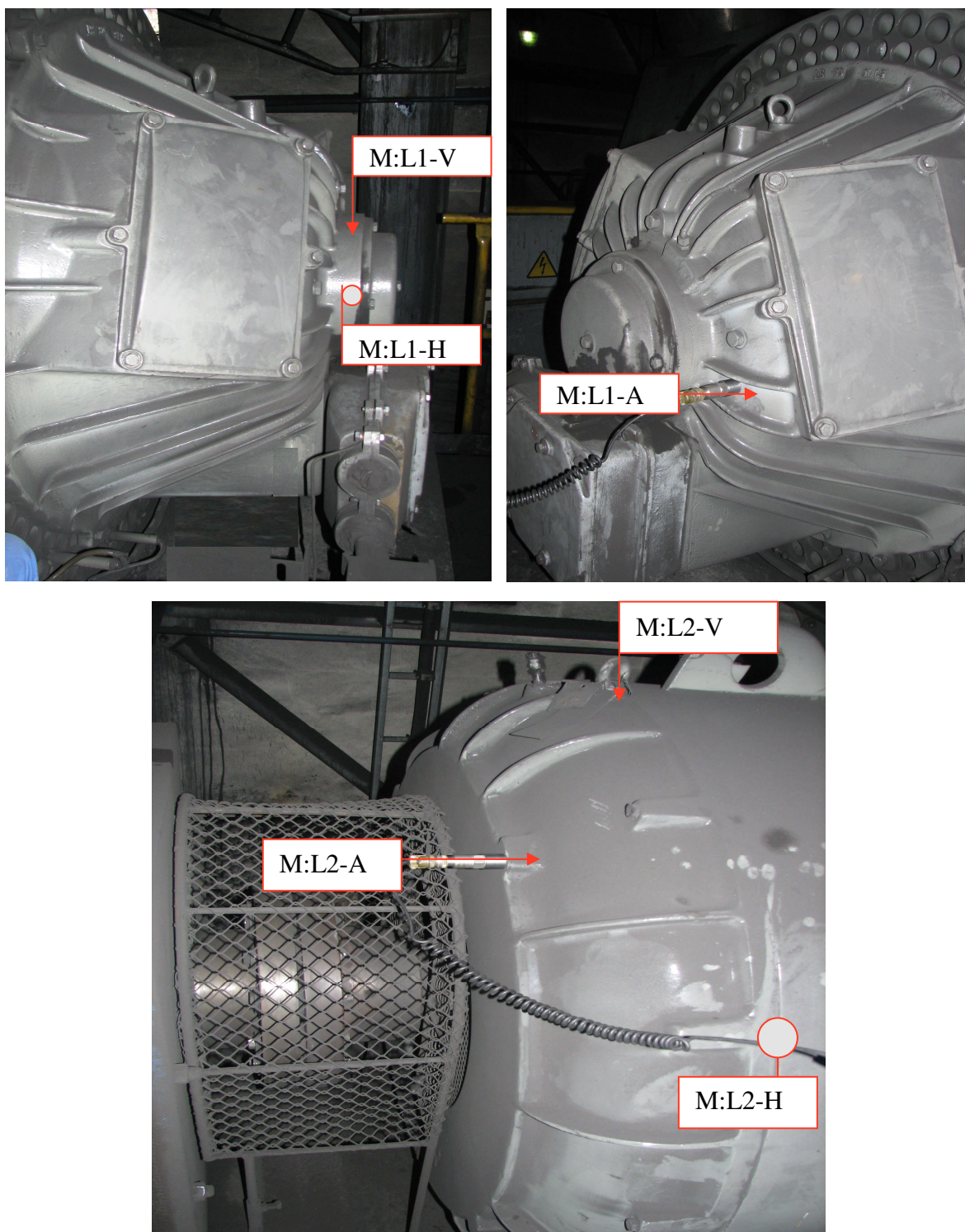
Naměřené hodnoty z analyzátoru jsem převáděl do softwaru DDS 2007 Cz verze 2 pro analýzu a archivaci naměřených dat. Přenos dat do PC lze uskutečnit za pomoci komunikačního kabelu.



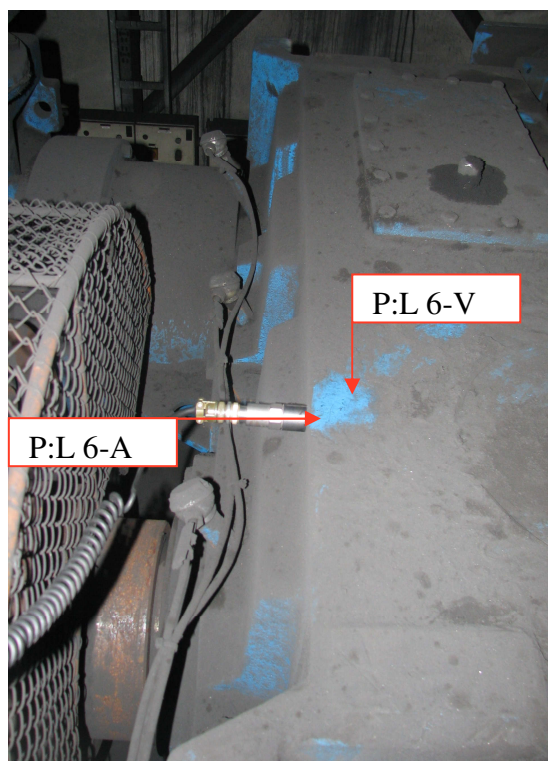
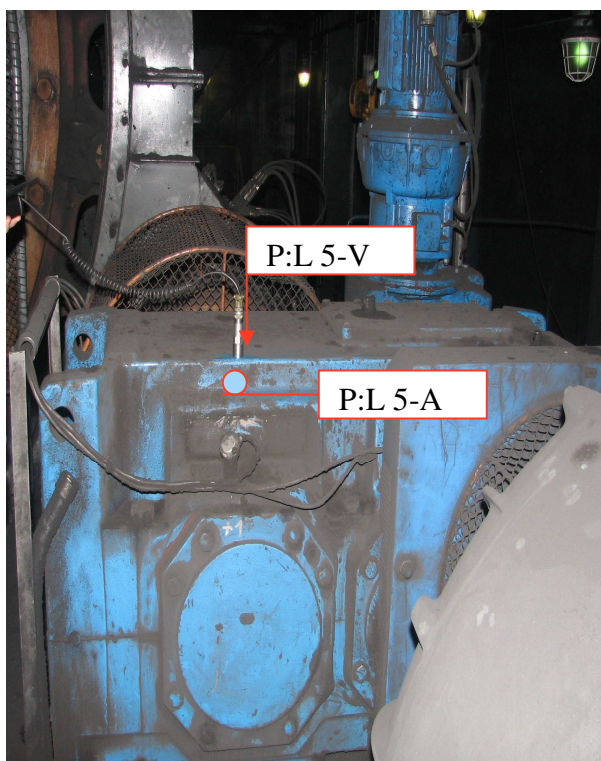
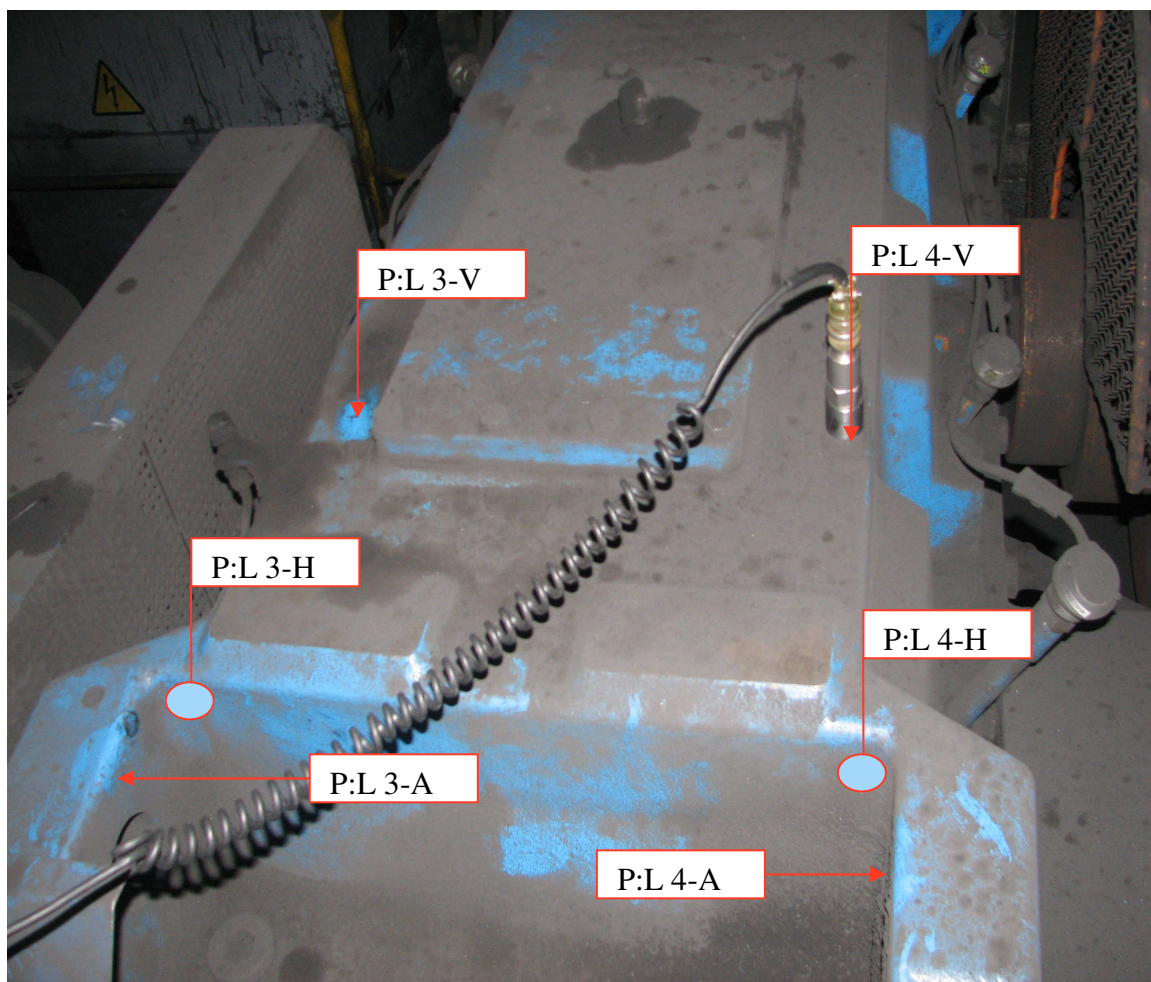
Obr. 5.9 Měřicí přístroj firmy Adash

5.5 Volba měřících míst na kulovém mlýnu

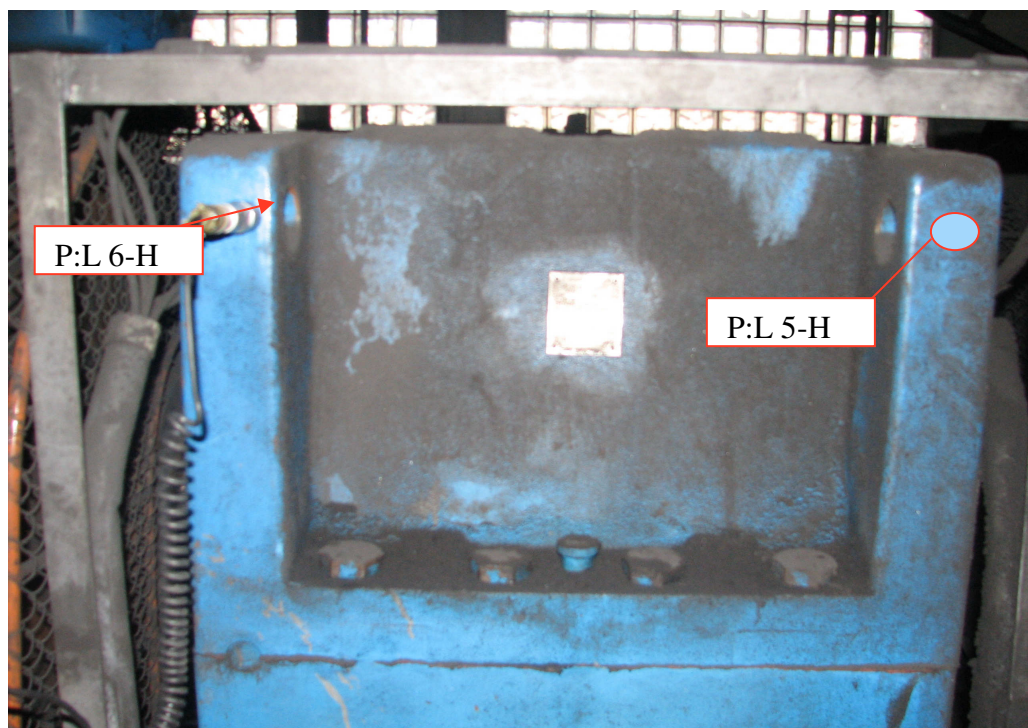
Měřicí místa jsem volil na daných zařízeních, tak aby bylo možné provádět měření opakovaně za stejných podmínek jak při předchozím měření. Snímač by měl být umístěn, tak aby byly splněny účely monitorování stavu vibrací dle normy ČSN ISO 13371 – 1. Podstatou snímače bylo také hlavní, aby byl co nejbližší připevněn k ložisku a tím se cesta šíření signálu stala nejkratší. Měření se provádělo za normálních provozních podmínek. Vzhledem dobré přístupnosti se podařilo změřit vibrace ve třech směrech a to ve vertikálním, horizontálním, axiálním v každém měřícím bodě. Zvolená měřicí místa jsou zobrazena a vyznačena na obr. 5.10, 5.11, 5.12. Pozice měřících bodů jsou označeny podle příslušných ložisek a podle polohy snímače: H – horizontální rovina, V – vertikální rovina, A – axiální rovina.



Obr. 5.10 Volba měřících bodů – motor



Obr. 5.11 Volba měřících bodů – převodovka

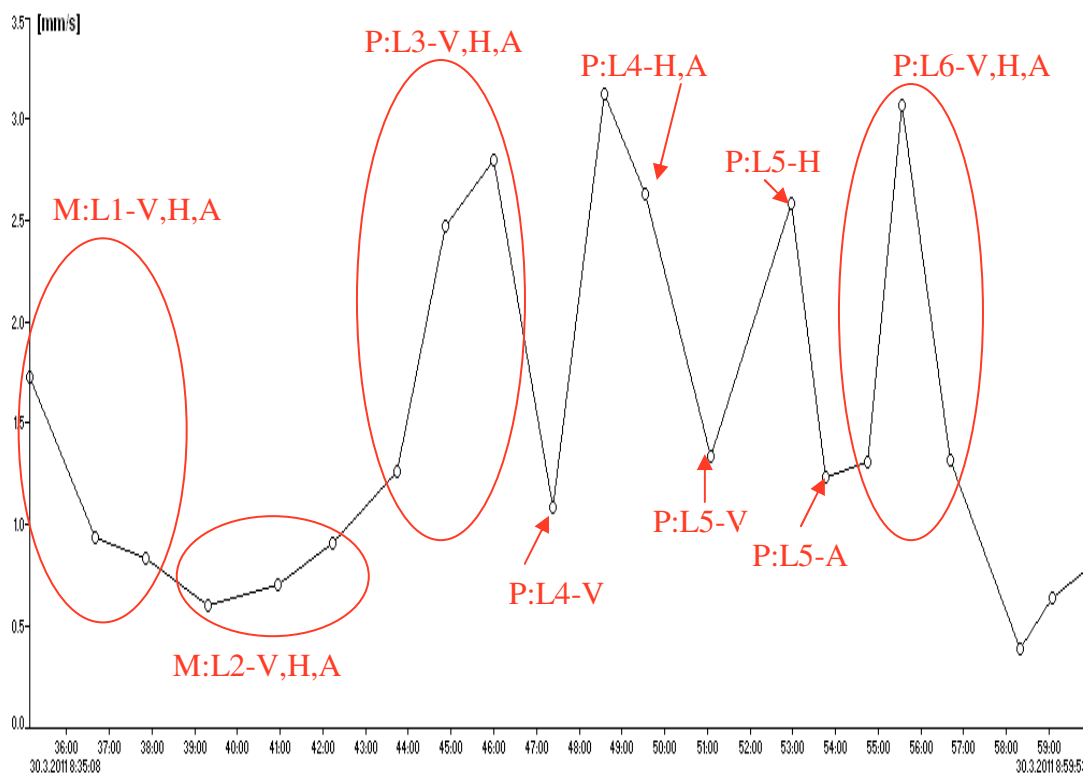


Obr. 5.12 Volba měřících bodů – převodovka

Provozní parametry kulového mlýna:

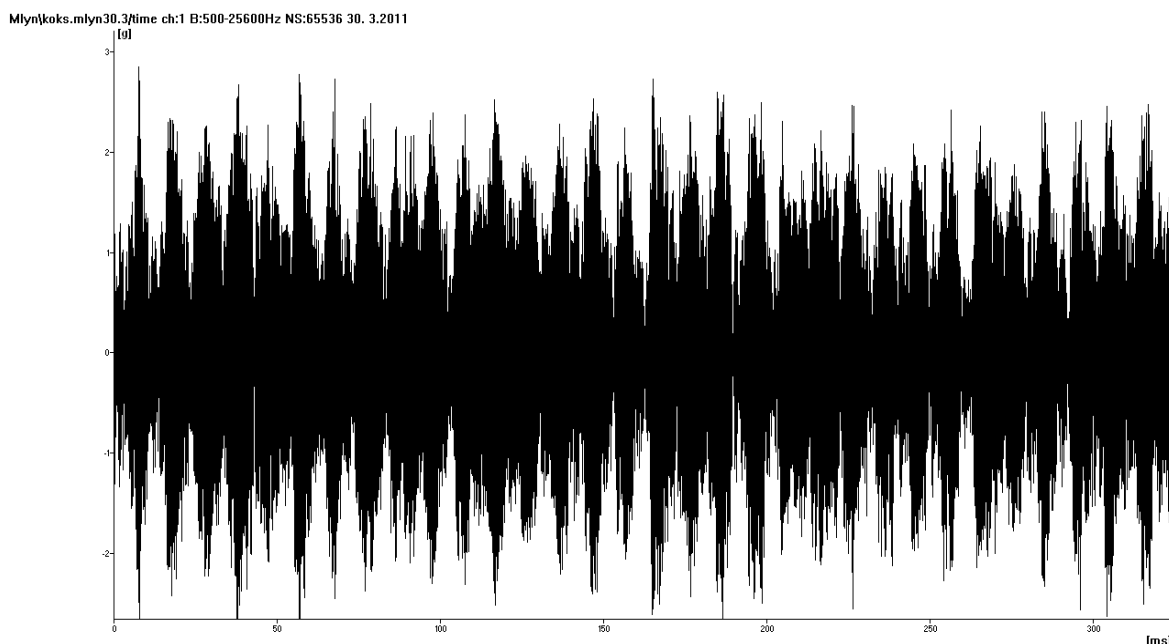
POHON	205MA1 HLAVNÍ POHON MLÝNU
VÝROBCE	SIEMENS -DRÁSOV
TYP	1YG 710 L-6
VÝROBNÍ ČÍSLO	175 393, rok výroby 2001
PROSTŘEDÍ	N 13 (Teplota okolí -30 +40°C)
Výkon motoru	800 kW
Otáčky motoru	991 ot/min
Stator - U 1	3000 V
Stator - I 1	184 A
Rotor - U 2	1076 V
Rotor - I 2	465 A
Frekvence	50 Hz
cos f	0,88
ÚČINNOST	95%
OSOVÁ VELIKOST	710 mm
SVORKOVNICE	4x90
LOŽISKA	přední 6321 C3, NU 321 BMC3, zadní NU 326 BMP 63
MAZACÍ TUK	OPTIMOL PD2 interval domazání co5780/3860 h.
MÍSTO ULOŽENÍ REZERVNÍHO MOTORU	ABB oprava
POČET NAMONTOVANÝCH MOTORŮ	1
POČET REZERVNÍCH MOTORŮ	1

Z naměřených hodnot vibrací jednotlivých bodů (obr. 5.13) lze poznat, že zařízení pracuje při působení nízkých vibrací. Dle normy ISO 10 816 – 1 se jedná o velký stroj, který řadíme do třetí třídy a je to stroj s rotujícími hmotami připevněné na pevných a těžkých základech. Tyto normy ISO 10 816 nejsou stavěné na kulové mlýny. Takže při zkoumání z grafu efektivních hodnot vibrací lze posoudit, že vysoké hodnoty vibrací na převodovce mohou být značně ovlivněny otáčením se bubnu kulového mlýnu.



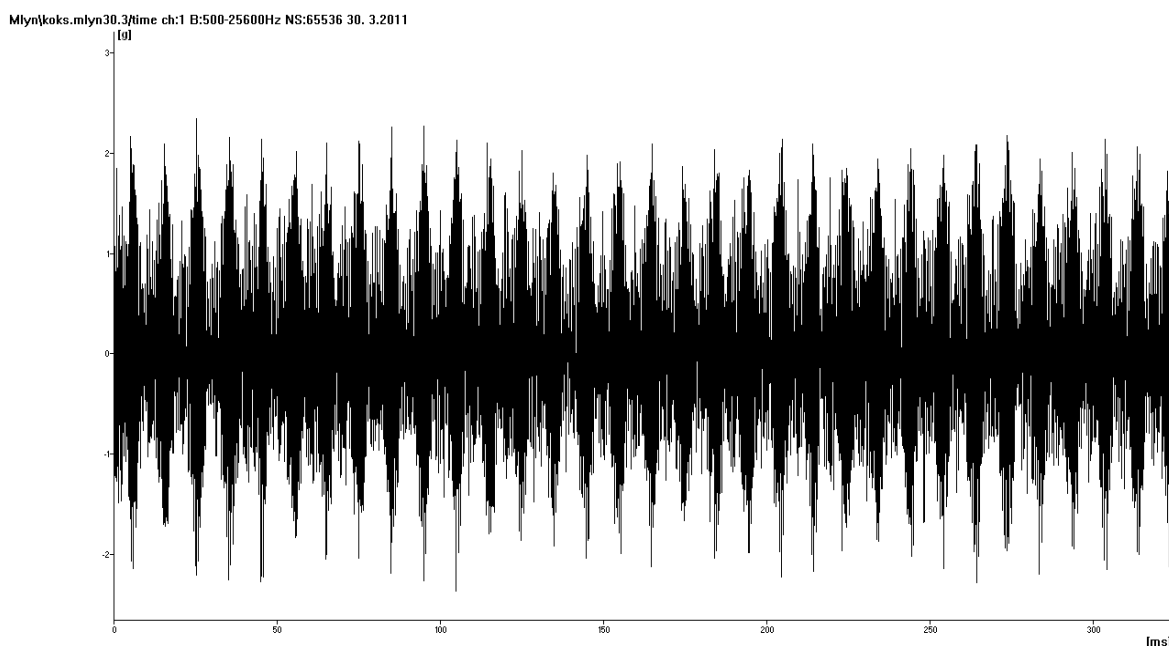
Obr. 5.13 Zobrazení efektivních hodnot rychlostí vibrací všech bodů v pásmu 10 – 1000 Hz

Při dalším srovnání dat v časovém záznamu zrychlení vibrací je vidět, že v elektromotoru na ložisku 1 v axiálním směru se nachází menší závada. Tuto závadu jsme také poznali poslechově, kde v původním zvuku se v pravidelných intervalech opakovaly tři stejné výrazné tóny.



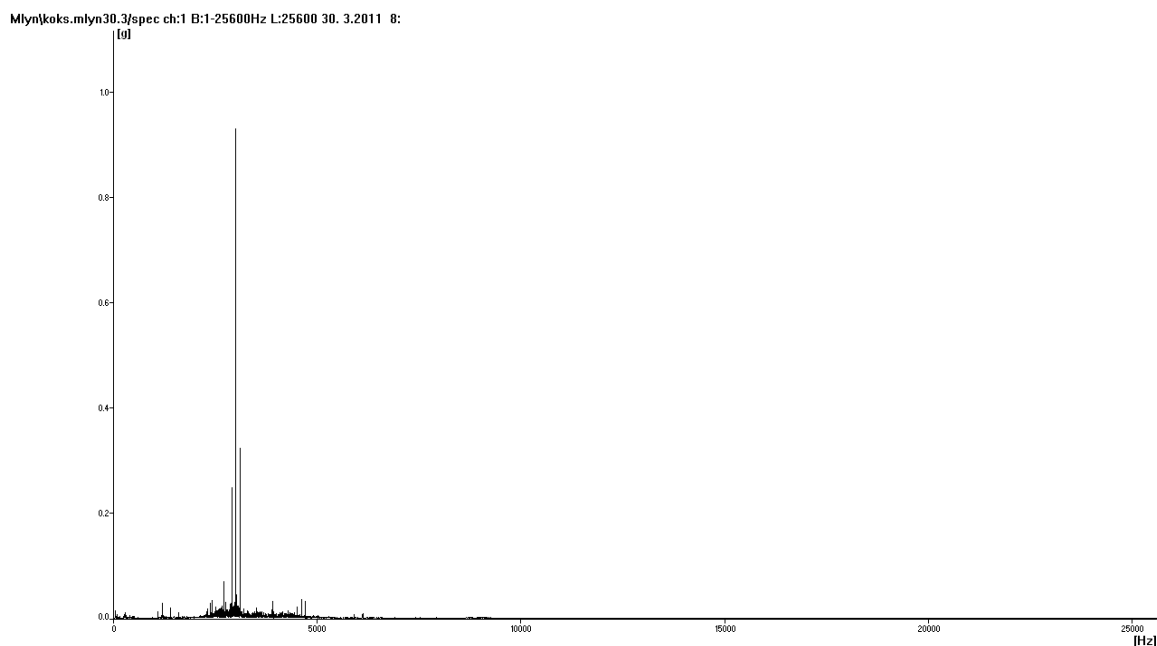
Obr. 5.14 Časový záznam zrychlení vibrací ložiska v místě M:L1-A

Dále se zaměřím v elektromotoru na ložisko 2 ve vertikálním směru, kde z časového záznamu zrychlení vibrací by se mohlo jednat o vadu vnitřního kroužku, ale pro potvrzení bychom potřebovali znát parametry ložiska a rozbor dělaný frekvenčního spektra.



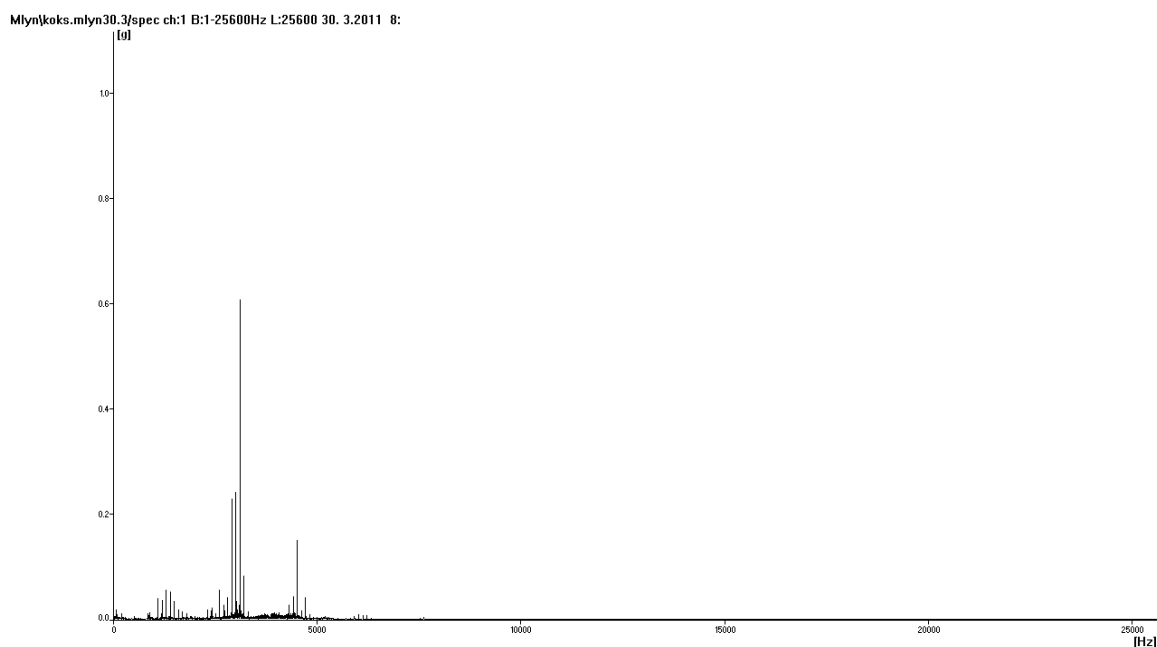
Obr. 5.15 Časový záznam zrychlení vibrací ložiska v místě M:L2-V

Rozborem frekvenčního spektra zrychlení v místě elektromotoru na ložisku 1 v axiálním směru lze vidět, že se tam nachází závada, která se bude dále vyvíjet. Doporučil bych výměnu ložisek na elektromotoru.

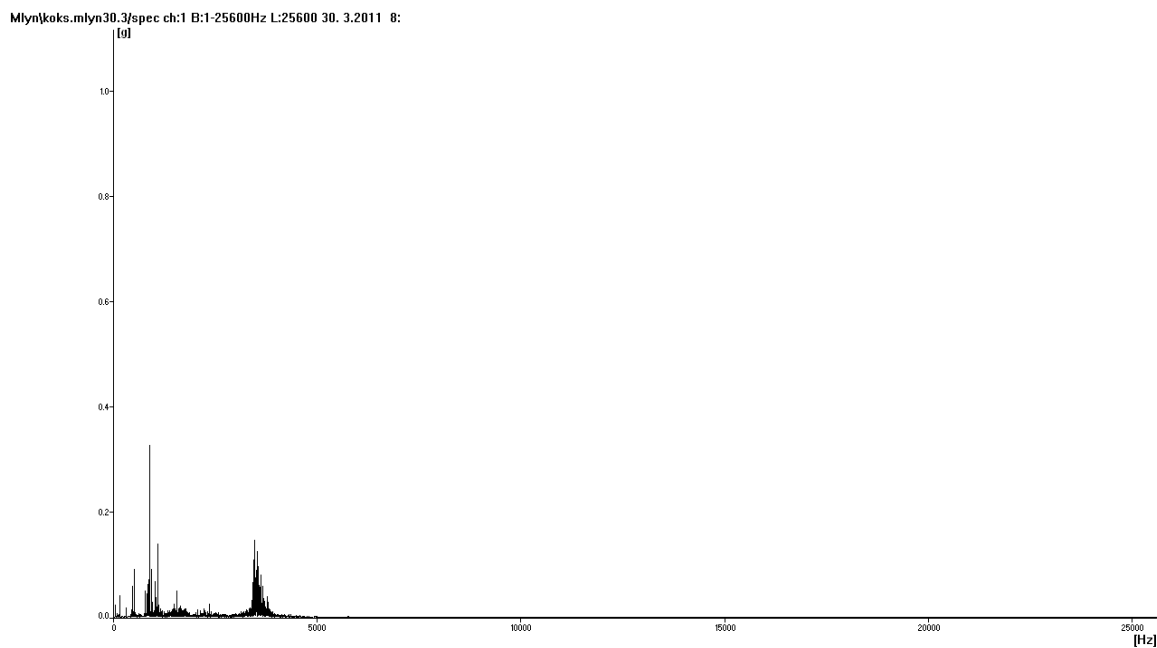


Obr. 5.16 Frekvenční spektru zrychlení vibrací ložiska v místě M:L1-A

Další rozborů frekvenčního spektra zrychlení v místě elektromotoru na ložisku 2 v horizontálním směru a v převodovce na ložisku 3 ve směru vertikálním jsou hodnoty vibrací s porovnáním v místě elektromotoru na ložisku 1 v axiálním směru znatelně menší.

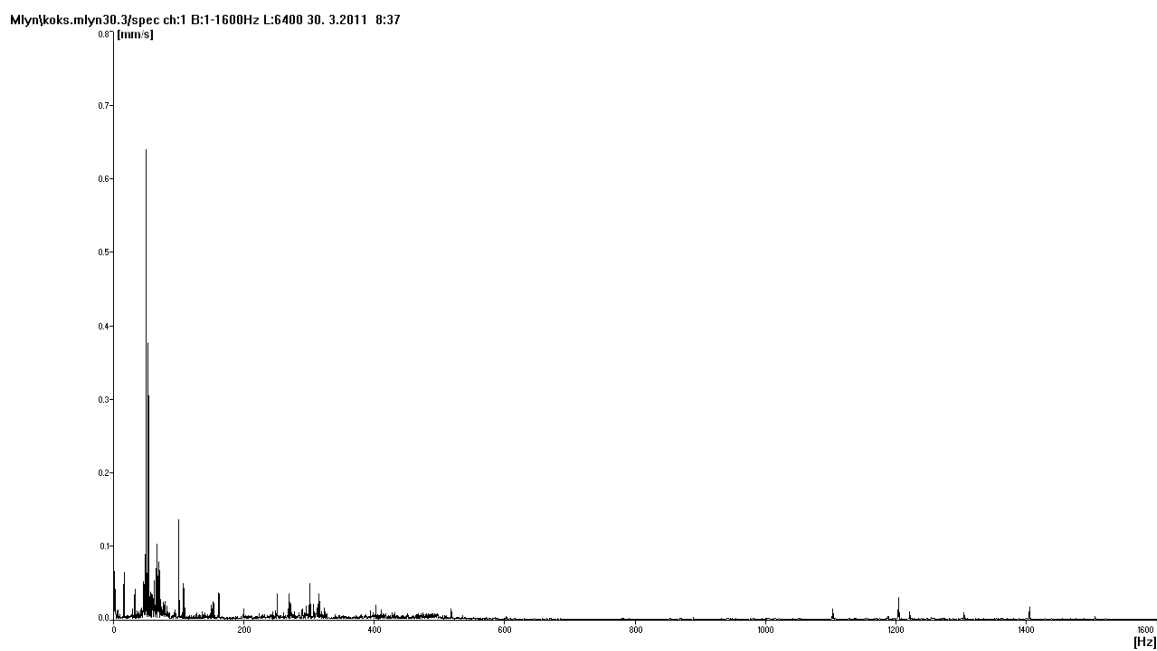


Obr. 5.17 Frekvenční spektrum zrychlení vibrací ložiska v místě M:L2-H



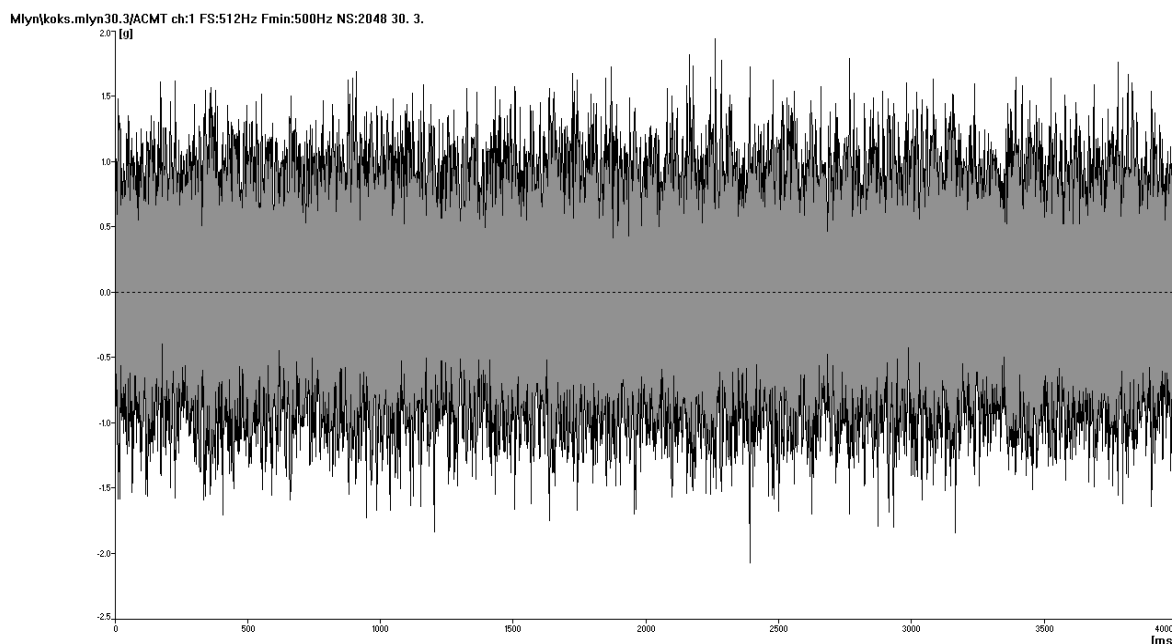
Obr. 5.18 Frekvenční spektrum zrychlení vibrací ložiska v místě P:L3-V

Rozborem frekvenčního spektra rychlostí vibrací ložiska v místě elektromotoru na ložisku 1 v axiálním směru lze vidět, že se tam opravdu nachází menší závada.



Obr. 5.19 Frekvenční spektrum rychlostí vibrací ložiska v místě M:L1-A

Při rozboru metodou ACMT v místě převodovky na posledním ložisku 6 ve směru vertikálním lze zjistit, že výsledkem není výrazné pravidelné opakování, protože je velmi nízká hodnota vibrací a jedná se především také o pomaloběh.



Obr. 5.20 Metoda ACMT v místě P:L6-V

Tato metoda má schopnost nacházet zdroje závad tam, kde jiné metody selhávají. Především musí vycházet ze speciálních kompresních metod časového signálu. Používá se pro měření stavu valivých ložisek a převodovek a je hlavně vhodná pro pomaloběžné stroje – papírenské stroje, válcovací tratě, transportní mechanismy. Důležitou vlastností této metody je měření velmi dlouhých časových záznamů a je i schopna zaznamenat krátkodobé vysokofrekvenční rázy. [8]

5.6 Závady kulového mlýnu na bubnu

Častou závadou na kulovém mlýnu byla porucha uvnitř bubnu, kde došlo k prasknutí desky pancíře. Tyto desky pancíře jsou vnitřní ochranou pláště bubnu, ve kterém se mele koks s kuličkami a právě tato činnost ovlivňuje pancíř, který je připevněný šroubem k plechu pláště mlýna. Tento mlýn je v provozu maximálně 3krát týdně, ale také záleží podle množství kolik toho musí vyprodukovat. Fotky prasklých dílů pancíře obr. 5.21 a připevnění nové desky pancíře na vnitřní plášť bubnu obr. 5.22 se zaznačenými místy, kde byla prováděna výměna dalších desek pancířů. Tyto fotky jsem pořídil v době, kdy byl mlýn mimo provoz.



Obr. 5.21 Prasklé díly pancířů



Obr. 5.22 Připevnění nových desek pancíře opláštění kulového mlýna

Závěr

Úkolem této bakalářské práce bylo se zaměřit na pohon kulového mlýnu, který se nachází ve společnosti Koksovna Svoboda v Ostravě. Konkrétněji jsme měřili vibrace v elektromotoru a převodovce v místech uložení ložisek. A také jsem se i zaměřil na celek kulového mlýnu jako je buben, ve kterém se semílá koks.

Častou závadou na kulovém mlýnu je praskání vnitřních desek pancířů, ale tato závada se považuje za velmi častou poruchu. Vzhledem k tomu, že kulový mlýn nepracuje 5 dní v kuse, ale jen 3krát až 2krát týdně podle potřeby množství koksárenského prášku, tak touto závadou se společnost moc nezabývá.

Z naměřených hodnot vibrací, které jsem za pomoci programu DDS 2007 vyhodnocoval měřené data, tak jsem docházel k těmto závěrům. V elektromotoru se na ložisku 1 v časovém záznamu zrychlení vibrací ve směru axiálním nachází menší závada, kterou jsme poznali také podle zvukového záznamu. Pro kontrolu prvního ložiska v elektromotoru ve směru axiálním jsem vyhodnotil přes frekvenční spektrum zrychlení, že lze vidět závadu, která se bude dále vyvíjet, a proto doporučuji vyměnit ložisko za nové. Dále se v elektromotoru na ložisku 2 v časovém záznamu zrychlení vibrací ve směru vertikálním, také vyskytla závada a mohlo by se jedna o poruše vnitřního kroužku, ale hodnoty vibrací nejsou příliš velké, takže bych doporučil častější kontrolu měření vibrací. Dále jsem se zaměřil na poslední ložisko 6 v převodovce ve směru vertikálním, kde jsem použil metodu ACMT a za pomoci této metody jsem zjistil, že výsledkem není výrazné pravidelné opakování a má nízkou hodnotu vibrací, takže toto ložisko je v dobrém stavu. Ostatní ložiska v převodovce mají nízké hodnoty vibrací, takže jejich stav je velmi dobrý. Tudíž celkově pohon kulového mlýna má dobrý technický stav a je schopno dalšího provozu.

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat společnosti Koksovna Svoboda za to, že mi umožnili měření na kulovém mlýnu a byli vstřícní. Dále děkuji svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Blatovi za jeho obětavý čas, který se mi snažil věnovat a také samozřejmě za jeho trpělivost při tvorbě této bakalářské práce. A nakonec bych chtěl poděkovat rodině a přátelům, kteří mi byli po celou dobu studia psychickou podporou.

Použitá literatura:

- [1] HELEBRANT, František; ZIEGLER, Jiří. *Technická diagnostika a spolehlivost II. Vibrodiagnostika*. Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2004. 178 s.
- [2] ZIEGLER, Jiří ; HELEBRANT, František. *Technická diagnostika výrobních zařízení*. Ostrava : Vysoká škola báňská v Ostravě, 1992. 182 s.
- [3] TŮMA, Jiří. *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Praha : Sdělovací technika s.r.o., 1997. 174 s.
- [4] HRABEC, Ladislav; HELEBRANT, František; MAZALOVÁ, Jana. *Technická diagnostika a spolehlivost III : Ustavování strojů*. Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. 91 s.
- [5] OKK Koksovny, a.s. [online]. 2009 [cit. 2011-04-18]. Koksovna Svoboda. Dostupné z WWW: <<http://www.koksovny.cz/cz/kde-vyrabime-koks/koksovna-svoboda/>>.
- [6] Kulové mlýny [online]. Přerov : PSP Engineering a.s., 2005 [cit. 2011-04-18]. Dostupné z WWW: <http://dc1.profisoft.cz/pspeng/Brochure/Ball%20mills_CZ.pdf>.
- [7] Adash Přenosné přístroje [online]. 2011 [cit. 2011-04-20]. Adash. Dostupné z WWW: <http://www.adash.cz/CZ%20verze/prenosne_pristroje.html>.
- [8] Fasit : Nový expertní systém pro DDS 2007 [online]. Ostrava : ADASH s.r.o, 2007 [cit. 2011-05-12]. Dostupné WWW: <http://www.adash.cz/doc/dds2007/dds2007_fasit_cz.pdf>.